

*А.М. Павліков, д.т.н., проф.,
С.О.Вовк, В.В. Гончаренко, О.А. Коваль, студенти
кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

ВПЛИВ ПЛАСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНУ НА ПОВНОТУ ЕПЮРИ НАПРУЖЕНЬ У СТИСНУТІЙ ЗОНІ НОРМАЛЬНОГО ПЕРЕРІЗУ БАЛОК

Наведені дані про вплив пластичних якостей бетону на форму епюри напружень у стиснутій зоні нормальних перерізів балок.

Приведены данные о влиянии пластических свойств бетона на форму эпюры напряжений в сжатой зоне нормального сечения балок.

They are given the data about the influence of concrete plastic properties on the shape of epure loading in the compressed zone of normal beam section.

Ключові слова: бетон, епюра, напруження, стиснута зона, залізобетонний балковий елемент.

Постановка проблеми. У розрахунках міцності балок за нормами [1] приймають епюру напружень у стиснутій зоні прямокутною. Але в дійсності контури цієї епюри криволінійні, а отже, й точки прикладання рівнодійних у кожному з випадків не збігатимуться. Це впливає на значення моменту в перерізі з відповідним відхиленням несучої здатності балок від дійсних значень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Напрями існуючої проблеми певною мірою викладено в роботах [1 – 8]. З наведених праць впливає, що розрахунок залізобетонних конструкцій за методом граничної рівноваги за прийнятими в нормах [1] передумовами приводить до результатів, котрі відрізняються від дослідних значень. Це пояснюється тим, що контури епюри напружень у бетоні стиснутої зони криволінійні, що в сучасних нормах не враховується.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Окреслення дійсної епюри напружень у бетоні стиснутої зони від прийнятої прямокутної за нормами [1] можна характеризувати коефіцієнтом її повноти ω , який у свою чергу залежить від коефіцієнта k [5], котрий за своєю суттю являє характеристику його пружно-пластичних властивостей. Тому встановлення залежності $\omega-k$ є у даній проблемі важливою складовою.

Цілі статті. Мета статті полягає у дослідженні того, як змінюється повнота епюри напружень у бетоні стиснутої зони в нормальному перерізі балки залежно від інтегрального коефіцієнта k .

В основу розв'язання поставленого завдання покладено використання повної діаграми фізичного стану бетону на стиск, екстремальний критерій міцності [9, 10, 11] і оптимізаційний критерій геометричних параметрів напружено-деформованого стану залізобетонного балкового елемента (ЗББЕ)

в закритичній стадії [5]. Виклад основного матеріалу. Розглядається ЗББЕ, руйнування котрого відбувається в зоні чистого згину (рис.1).

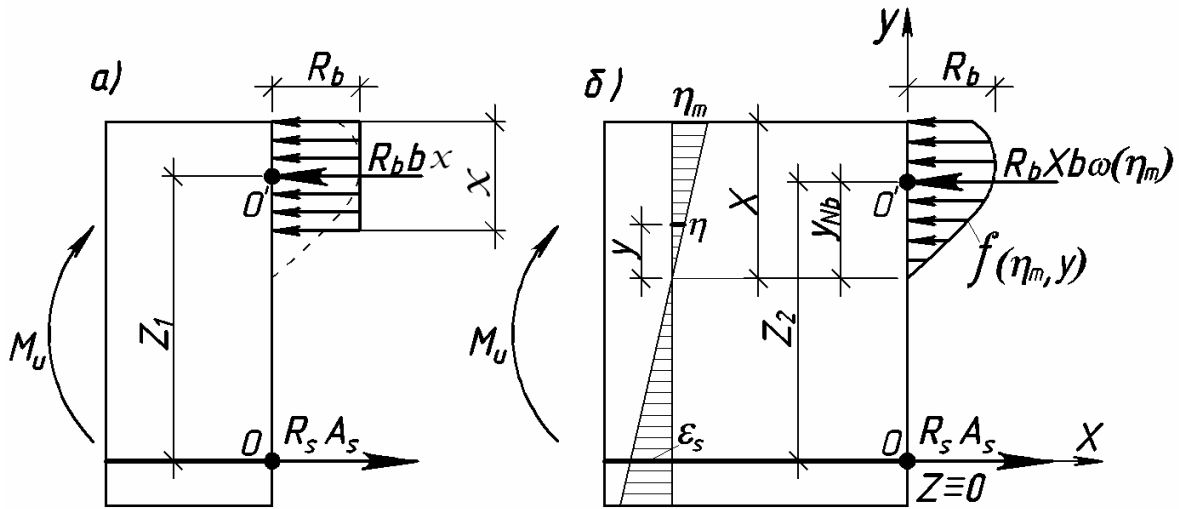


Рис. 1 – Розрахункова схема

Відповідно до розрахункової схеми рівняння рівноваги аналогічно з роботами [5, 6] можна записати у вигляді

$$\sum X = 0; \quad R_s A_s = R_b b x = \int b f(\eta_m, y) dy = R_b b X \omega(\eta_m); \quad (1)$$

$$\sum M_o = 0; \quad M_u R_s A_s (h_o - X + y_{Nb}) = R_s A_s (h_o - x \cdot \frac{R_s A_s}{R_b b}); \quad (2)$$

$$y_{Nb} = X \frac{\varphi}{\omega}; \quad (3)$$

$$x = \frac{\varphi - \omega}{\omega^2}. \quad (4)$$

На основі математичних перетворень коефіцієнт повноти епюри ω , а також коефіцієнт φ функціонально представлені від η_m і k та мають вигляд [5]

$$\omega = \frac{(k-1)^2 (c - \ln c - 1)}{(k-2)^3 \eta_m} - \frac{\eta_m}{2(k-2)}; \quad (5)$$

$$\varphi = \frac{(k-1)^2}{(k-2)^3} \left\{ \frac{k-2}{2} - \frac{1}{\eta_m} \left[1 - \frac{\ln(c)}{(k-2)\eta_m} \right] \right\} - \frac{\eta_m}{3(k-2)}. \quad (6)$$

Як впливає із залежностей (5) та (6), повнота епюри ω є функцією двох величин, одну з котрих, а саме η_m , можна зафіксувати для характерного стану ЗББЕ, тобто коли $\eta_m = \eta_u$. За такий стан прийнято максимальний опір балки дії зовнішнього навантаження, що математично представлено так:

$$\frac{\partial M}{\partial \eta_m} = 0. \quad (7)$$

У результаті за допомогою формули (7) з виразу (2) отримано рівняння для визначення шуканої величини η_u за роботою [5]

$$a^5 \eta_u^5 - (k+b)(a+b)a^4 \eta_u^4 - 24b^2 a^3 \eta_u^3 + 12(b^2 - 2)b^2 a^2 \eta_u^2 - 12b^4 c \ln^2 c + 12\eta_u ab^2 (c+1)c \ln c = 0, \quad (8)$$

$$\text{де } a = k - 2; \quad b = k - 1; \quad c = (a \cdot \eta_u + 1).$$

Розв'язок рівняння (8) залежно від параметра k показує, що зі зростанням k збільшується як значення η_u за формулою (8), так і ω за виразом (5), про що свідчить графік $\omega - \eta_u, k$, наведений на рис. 2.

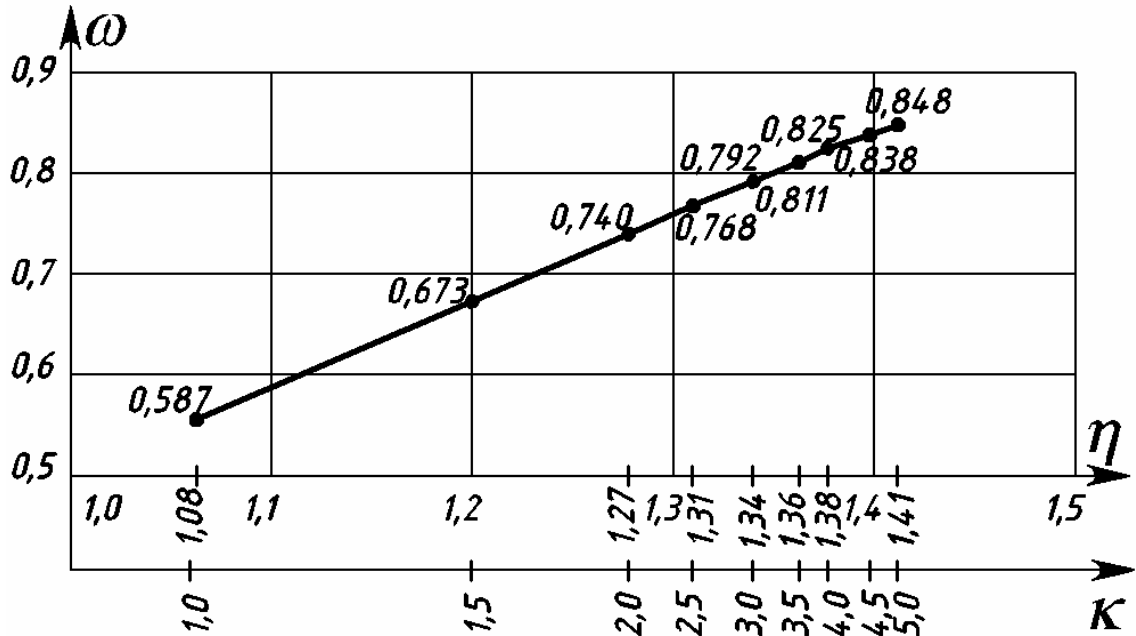


Рис. 2 – Графік залежності ω від k та η_u

Аналіз графіка, зображеного на рис. 2, показує, що збільшення пластичних властивостей бетону веде до зростання ω за рівнянням (5) та зменшення значень χ за формулою (4).

Оскільки у виразі (4) χ – відносне значення координати прикладання рівнодійної в бетоні стиснутої зони, то з вищезазначеного випливає, що зростання пластичних властивостей бетону веде до зменшення плеча внутрішньої пари сил за рахунок наближення окресленості епюри напружень до прямокутної. Це також видно з рис. 3, на котрому, використовуючи функцію розподілу напружень у бетоні стиснутої зони, простежується залежність

$$\sigma_b = \frac{R_b \eta_m y (kX - \eta_m y)}{X(X + k\eta_m Y - 2\eta_m Y)}, \quad (9)$$

у якій $\eta_m = \eta \cdot X/y$, побудовані епюри розподілення напружень у стиснутій зоні перерізу балки при $k=1,18; 2,0; 4,5$.

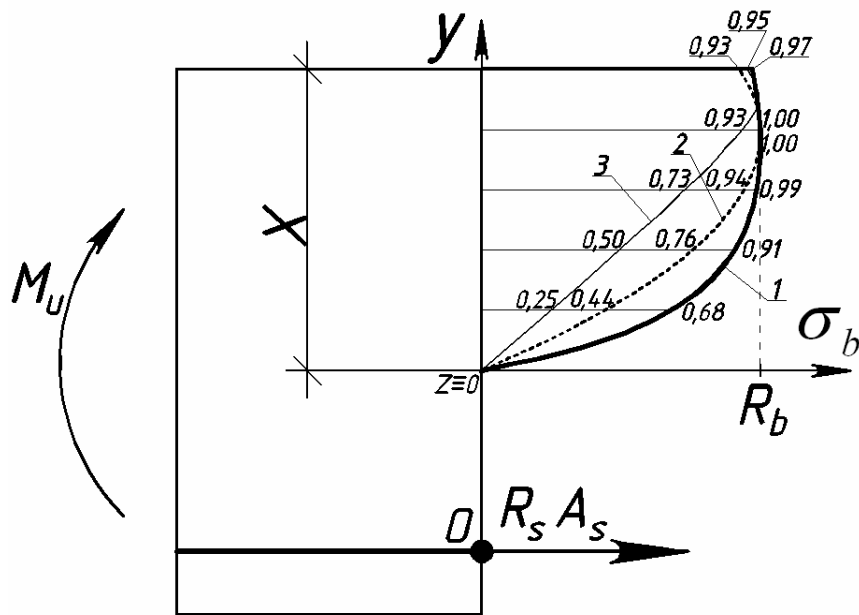


Рис. 3 – Епюри розподілення напружень у стиснутому бетоні, побудовані за рівнянням (9):

1 – при $k=4,5$; 2 – при $k=2$; 3 – при $k=1,18$

Висновки. Розрахунок міцності ЗББЕ можна здійснювати за формулою (9), використовуючи для визначення її складових рівняння (8) і функції (5) та (6), отримані з урахуванням повної діаграми фізичного стану бетону на стиск та із застосуванням екстремального критерію міцності й оптимізаційного критерію геометричних параметрів напружено-деформованого стану ЗББЕ в закритичній стадії. Граничні значення ω і φ , як свідчить аналіз формул (5) та (6), залежать від форми стиснутої зони бетону поперечного перерізу ЗББЕ. Урахування дійсної форми епюри напружень у бетоні стиснутої зони ЗББЕ дозволяє повною мірою використовувати пружно-пластичні властивості бетону і цим самим максимально наблизити розрахункову модель таких елементів до дійсного напружено-деформованого стану.

Література

1. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 88 с.
2. Вахненко П.Ф. Сучасні методи розрахунку залізобетонних конструкцій на складні види деформацій: монографія / П.Ф. Вахненко. – К.: Будівельник, 1992. – 112 с.
3. Бамбура А.Н. Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона / А.Н. Бамбура, В.Я. Бачинский и др.; НИИСК Госстроя СССР. – К. – 1987. – 25 с.
4. Дорофеев В.С. Расчет изгибаемых элементов с учетом полной диаграммы деформирования бетона: монографія / В.С. Дорофеев, В.Ю. Барданов. – Одесса: Изд-во ОГАСА, 2003. – 210 с.
5. Павліков А.М. Оптимізаційний критерій напружено-деформованого стану в задачах проектування навскісно завантажених елементів / А.М. Павліков // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: ОДАБУ, 2006. – Вип. 21. – С.166–174.
6. Павліков А.М. Нелінійна модель напружено-деформованого стану навскісно завантажених залізобетонних елементів у розрахунках їх міцності / А.М. Павліков // Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) / Державний

науково-дослідний інститут будівельних конструкцій Міністерства регіонального розвитку та будівництва. – К.: НДІБК, 2007. – Вип. 67. – С.254 – 262.

7.Павліков А.М. Міцність косозігнутих залізобетонних елементів за умови дволінійної роботи бетону та арматури / А.М. Павліков, О.В. Бойко // Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) / Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій Міністерства регіонального розвитку та будівництва. – К.: НДІБК, 2007. – Вип. 67. – С.263 – 270.

8.Байков В.Н. Железобетонные и каменные конструкции. Общий курс / В.Н. Байков, М.В. Сигалов.–М.: Стройиздат, 1991.–768 с.

9.Comite Euro-international du beton. Code modele CEB-FIP pour les structures en beton (Version de reference) / Bulletin of d' information

10. N 124/125 – F. – Paris, 1978.

11. Митрофанов В.П. Екстремальний критерій міцності залізобетонних та кам'яних елементів у деформаційній моделі / В.П. Митрофанов, А.М. Павліков // Будівельні конструкції. Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону: зб. наук. пр. / Держ. НДІ буд. конструкцій Держбуду України. Кн. 1. – К.: НДІБК, 2005. – Вип.62. – С.205 – 212.

12. Митрофанов В.П. Практическое применение деформационной модели с экстремальным критерием прочности железобетонных элементов / В.П. Митрофанов // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. /ХНАГХ. Вып. 55. – К.:Техніка, 2004. – С.29 – 48.

Надійшла до редакції 11.06.2009

© А.М. Павліков, С.О. Вовк, В.В. Гончаренко, О.А. Коваль